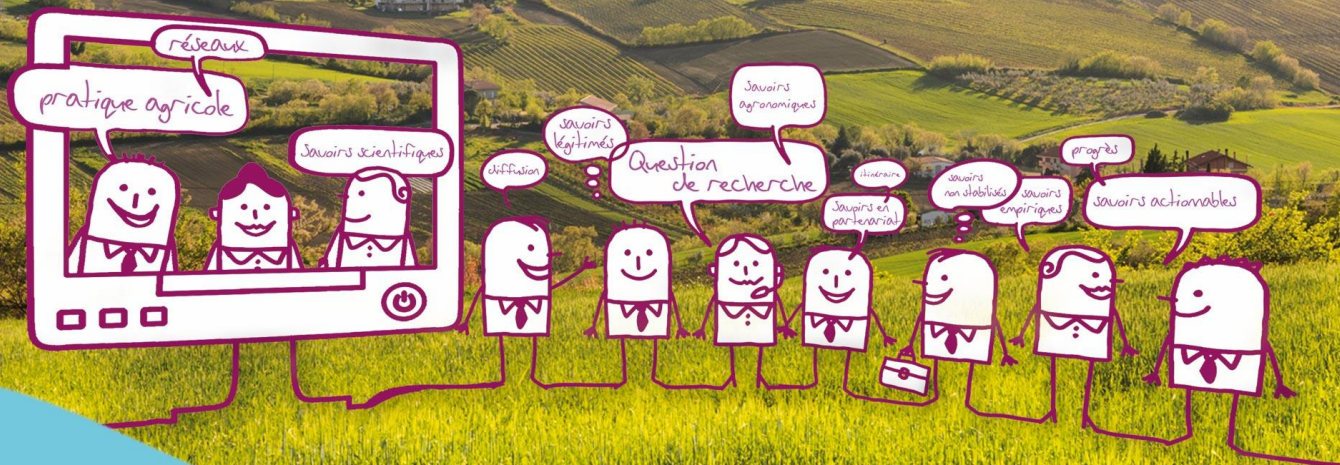


Agronomie

environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie



Savoirs agronomiques pour l'action

Agronomie, Environnement & Sociétés

Revue éditée par l'Association française d'agronomie (Afa)

Siège : 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.

Secrétariat : 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2.

Contact : douhairi@supagro.inra.fr, T : (00-33)4 99 61 26 42, F : (00-33)4 99 61 29 45

Site Internet : <http://www.agronomie.asso.fr>

Objectif

AE&S est une revue en ligne à comité de lecture et en accès libre destinée à alimenter les débats sur des thèmes clefs pour l'agriculture et l'agronomie, qui publie différents types d'articles (scientifiques sur des états des connaissances, des lieux, des études de cas, etc.) mais aussi des contributions plus en prise avec un contexte immédiat (débats, entretiens, témoignages, points de vue, controverses) ainsi que des actualités sur la discipline agronomique.

ISSN 1775-4240

Contenu sous licence Creative commons



Les articles sont publiés sous la *licence Creative Commons 2.0*. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Directeur de la publication

Marc BENOÎT, président de l'Afa, Directeur de recherches, Inra

Rédacteur en chef

Olivier RÉCHAUCHÈRE, chargé d'études Direction de l'Expertise, Prospective & Etudes, Inra

Membres du bureau éditorial

Pierre-Yves LE GAL, chercheur Cirad

Hervé SAINT MACARY, directeur adjoint du département Persyst, Cirad

Philippe PRÉVOST, directeur Agreenium Université en ligne

Danielle LANQUETUIT, consultante Triog et webmaster Afa

Comité de rédaction

- Marc BENOÎT, directeur de recherches Inra
- Valentin BEAUVAL, agriculteur
- Jacques CANEILL, directeur de recherches Inra
- Joël COTTART, agriculteur
- Thierry DORÉ, professeur d'agronomie AgroParisTech
- Sarah FEUILLETTE, cheffe du Service Prévision Evaluation et Prospective Agence de l'Eau Seine-Normandie
- Yves FRANCOIS, agriculteur
- Jean-Jacques GAILLETON, inspecteur d'agronomie de l'enseignement technique agricole
- François KOCKMANN, chef du service agriculture-environnement Chambre d'agriculture 71
- Marie-Hélène JEUFFROY, directrice de recherche Inra et agricultrice
- Aude JOMIER, enseignante d'agronomie au lycée agricole de Montpellier
- Jean-Marie LARCHER, responsable du service Agronomie du groupe Axérial
- François LAURENT, chef du service Conduites et Systèmes de Culture à Arvalis-Institut du végétal
- Francis MACARY, ingénieur de recherches Irstea
- Jean-Robert MORONVAL, enseignant d'agronomie au lycée agricole de Chambray, EPLEFPA de l'Eure
- Christine LECLERCQ, professeure d'agronomie Institut Lassalle-Beauvais
- Adeline MICHEL, Ingénieure du service agronomie du Centre d'économie rurale de la Manche
- Philippe POINTEREAU, directeur du pôle agro-environnement à Solagro
- Philippe PRÉVOST, directeur Agreenium Université en Ligne
- Hervé SAINT MACARY, directeur adjoint du Département Persyst, Cirad

Secrétaire de rédaction

Philippe PREVOST

Assistantes éditoriales

Sophie DOUHAIRIE et Danielle LANQUETUIT

Conditions d'abonnement

Les numéros d'AE&S sont principalement diffusés en ligne. La diffusion papier n'est réalisée qu'en direction des adhérents de l'Afa ayant acquitté un supplément
(voir conditions à <http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>)

Périodicité

Semestrielle, numéros paraissant en juin et décembre

Archivage

Tous les numéros sont accessibles à l'adresse <http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/>

Soutien à la revue

- En adhérant à l'Afa via le site Internet de l'association (<http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>). Les adhérents peuvent être invités pour la relecture d'articles.
- En informant votre entourage au sujet de la revue AE&S, en disséminant son URL auprès de vos collègues et étudiants.
- En contactant la bibliothèque de votre institution pour vous assurer que la revue AE&S y est connue.
- Si vous avez produit un texte intéressant traitant de l'agronomie, en le soumettant à la revue. En pensant aussi à la revue AE&S pour la publication d'un numéro spécial suite à une conférence agronomique dans laquelle vous êtes impliqué.

Instructions aux auteurs

Si vous êtes intéressé(e) par la soumission d'un manuscrit à la revue AE&S, les recommandations aux auteurs sont disponibles à l'adresse suivante :

<http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/pour-les-auteurs/>

À propos de l'Afa

L'Afa a été créée pour faire en sorte que se constitue en France une véritable communauté scientifique et technique autour de cette discipline, par-delà la diversité des métiers et appartenances professionnelles des agronomes ou personnes s'intéressant à l'agronomie. Pour l'Afa, le terme agronomie désigne une discipline scientifique et technologique dont le champ est bien délimité, comme l'illustre cette définition courante : « *Etude scientifique des relations entre les plantes cultivées, le milieu [envisagé sous ses aspects physiques, chimiques et biologiques] et les techniques agricoles* ». Ainsi considérée, l'agronomie est l'une des disciplines concourant à l'étude des questions en rapport avec l'agriculture (dont l'ensemble correspond à l'agronomie au sens large). Plus qu'une société savante, l'Afa veut être avant tout un carrefour interprofessionnel, lieu d'échanges et de débats. Elle se donne deux finalités principales : (i) développer le recours aux concepts, méthodes et techniques de l'agronomie pour appréhender et résoudre les problèmes d'alimentation, d'environnement et de développement durable, aux différentes échelles où ils se posent, de la parcelle à la planète ; (ii) contribuer à ce que l'agronomie évolue en prenant en compte les nouveaux enjeux sociétaux, en intégrant les acquis scientifiques et technologiques, et en s'adaptant à l'évolution des métiers d'agronomes.

Lisez et faites lire AE&S !

Sommaire

Avant-propos

P7- O. RÉCHAUCHÈRE (Rédacteur en chef) et M. BENOÎT (Président de l'Afa)

Éditorial

P9- P. PREVOST, M. CAPITAINE, L. PROST, B. OMON, M. CERF, C. COMPAGNONE (coordonnateurs du numéro)

Regards croisés sur la production des savoirs agronomiques

P15- Regard historique sur la production des savoirs agronomiques

N. JAS

P19- Les savoirs agronomiques pour le développement : diversité et dynamiques de production

J.M. MEYNARD

P29- La ferme et la clinique : remarques sur la molécularisation du vivant, l'innovation technologique et ses limites

J.P. GAUDILLIERE

P37- La ferme et la clinique : point de vue de deux agronomes sur le texte de J.P. Gaudillière

M.H. JEUFFROY et B. OMON

P39- Savoirs et connaissances : conseils pris par les agronomes auprès des sciences sociales

T. DORE et M. LE BAIL

P43- Les concepts et les méthodes des sciences sociales pour la production et le partage des savoirs agronomiques le point de vue de l'ergonomie

M. CERF

P45- Les concepts et les méthodes des sciences sociales pour la production et le partage des savoirs agronomiques le point de vue des sciences de gestion

N. GIRARD

P49- Les concepts et les méthodes des sciences sociales pour la production et le partage des savoirs agronomiques le point de vue de la sociologie

N. JOLY et F. PINTON

P53- Les concepts et les méthodes des sciences sociales pour la production et le partage des savoirs agronomiques le point de vue de la didactique professionnelle

P. OLRV

Itinéraires de production de savoirs : catégories de savoirs, cheminements des agronomes et efficacité pour l'action

P59- La co-conception d'itinéraires techniques économes en intrants en culture de colza

M. MORISON, J.B. LOZIER, C. RUAUT et C. LECLERCQ

P71- La construction d'un bien commun à travers une démarche de sélection participative : le cas du blé dur adapté à l'agriculture biologique

T. GARCIA-PARILLA, F. CHRETIEN, D. DESCLAUX, G. TROUCHE

P83- La construction et la mobilisation de schémas décisionnels dans le changement de systèmes de culture

R. REAU, C. CROS, B. LEPRUN, E. MEROT, B. OMON, L. PAVARANO

P93- Le groupe « vergers durables » produit et capitalise des connaissances pour concevoir et conduire des vergers autrement

M. CAPITAINE, S. PENVERN, A. CARDONA, J. SIMONNEAUX, Y. GUILBERT

P101- Co-conception de systèmes de culture valorisant le non labour et la couverture du sol en agriculture biologique : de l'intérêt d'une réflexivité en contexte multi-disciplinaire

M. VIDAL, B. OMON, P. MOITY-MAIZI

P107- L'agronomie : une science normale interrogée par la biodynamie ?

C. COMPAGNONE, P. PREVOST, L. SIMONNEAUX, D. LEVITE, M. MEYER, C. BARBOT

P115- Itinéraires de production de savoirs : spécificité des situations locales, dispositifs de production de savoirs et systèmes d'innovations

P. PREVOST, M. CERF et M. CAPITAINE

P119- Quels renouvellements des savoirs agronomiques ? Dialogue entre agronomes et zootechniciens

L. PROST, M. CAPITAINE et B. DEDIEU

Savoirs agronomiques et dispositifs de recherche, de formation et de développement

P131- Valorisation des résultats de projets de recherche pour les praticiens agricoles innovants en facilitant l'accès à l'information : le projet européen VALERIE

Y. HILY, L. BECHINI, J. INGRAM, N. KOENDERINK, P. SCHULER, H. TEN BERGE, E. JUSTES

P141- Construction d'un modèle sémantique pour organiser les connaissances dédiées à l'agro-écologie. Le cas d'Agro-PEPS/GECO

L. TROUCHE, S. AUBIN, V. SOULIGNAC, L. GUICHARD

P151- Les savoirs agronomiques dans les itinéraires de conception de référentiels de formation – Comment sont pris en compte les nouveaux enjeux sociétaux et les savoirs émergents ? Et quels rôles pour les agronomes ?

N. CANCIAN, P. PREVOST, F. CHRETIEN, L. SIMONNEAUX, P. OLRy, J.F. METRAL, M. DAVID

P167- Connaître et penser, le défi d'intelligence des pratiques agroécologiques

P. MAYEN

P177- Transformations du conseil aux agriculteurs et innovations agronomiques, perspectives et débats européens

P. LABARTHE

P185- Renouveler la place du conseiller dans la production de savoirs agronomiques dans l'action : le rôle de dispositifs d'échange sur le métier

M. CERF, M.N. GUILLOT, P. OLRy, B. OMON, M.S. PETIT

P193- L'activité de re-conception d'un système de culture par l'agriculteur : implications pour la production de connaissances en agronomie

Q. TOFFOLINI, M.H. JEUFFROY, L. PROST

P203- La production de références pour la diffusion de savoirs pour l'action

P. VISSAC

Notes de lecture

P209- Produire et mobiliser différentes formes de connaissances pour et sur la transformation des systèmes agricoles : regards interdisciplinaires – compte-rendu de l'école chercheurs « connaissance »

L. PROST

P211- Prospective de la recherche-développement à l'horizon 2025 – compte-rendu du colloque de restitution

B. OMON

Annexe

P215- Appel à contribution du numéro

VARIA

P219- Concepts et outils pour l'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes agricoles.

J. AUBERGER, A. AVADI, J. CHIFFE, M. CORSON, T. LABBE, C. MALNOE, V. RAIMBERT, T. TROCHET, H.M.G. VAN DER WERF



Concepts, méthodes et outils pour l'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes agricoles

Concepts, methods and tools for multi-criteria sustainability analysis of agricultural systems

Julie AUBERGER - Angel AVADI - Jérôme CHIFFE
Michael CORSON - Tiphaine LABBÉ
Caroline MALNOË - Véronique RAIMBERT
Thierry TROCHET - Hayo M. G. VAN DER WERF*

UMR SAS, INRA, AGROCAMPUS OUEST - 35000 Rennes - France
*Auteur correspondant

Résumé

Les méthodes d'évaluation multicritère (EM) permettent de guider l'innovation pour concevoir des systèmes de production agricoles durables. Cet article présente et discute les principaux concepts, ainsi que quelques méthodes et exemples d'outils logiciels utilisés en France pour l'EM de la durabilité en agriculture. Les méthodes d'EM permettent de refléter une réalité complexe : elles quantifient le fait que, lors d'une comparaison de systèmes, il est rare qu'un des systèmes ait les valeurs les plus favorables pour l'ensemble des critères, chaque système ayant ses points forts et faibles. Les méthodes d'EM descriptive se limitent à une description des systèmes étudiés à l'aide de plusieurs critères, tandis que les méthodes d'évaluation multicritère d'interprétation incluent ou sont limitées à l'intégration de l'ensemble des critères pour faciliter une décision.

Mots-clés

Évaluation multi-critère, durabilité, systèmes agricoles, indicateurs, outils informatiques.

Abstract

Multi-criteria analysis (MCA) methods can guide innovation for the design of sustainable agricultural systems. This article presents and discusses the main MCA concepts as well as some methods and examples of software tools used in France for MCA of sustainability in agriculture. MCA methods reflect a complex reality: they quantify that, when comparing systems, it is rare for one system to have the best values for all indicators, since each system has strong and weak points. Descriptive MCA methods are limited to the calculation of values for several indicators for alternative actions or systems that are compared. Interpretive MCA methods are limited to or include a stage in which indicator values are interpreted and the actions or systems that are preferable are identified.

Introduction

L'histoire de l'agriculture est une histoire d'intensification, d'une utilisation accrue d'intrants (engrais, pesticides, aliments pour animaux etc.), afin d'augmenter la production par hectare

de terre. Ainsi, la performance des systèmes agricoles était classiquement évaluée par un seul critère¹ : le rendement par hectare. Depuis les années 1950, cette recherche de l'augmentation des rendements a amené les systèmes agricoles vers des modes de production de plus en plus consommateurs en intrants. En parallèle, ces modes de production ont eu des conséquences imprévues : une standardisation des produits agricoles, voire une baisse de leur qualité gustative (Castellini et al., 2008), une diminution du bien-être animal (Swanson, 1995), une augmentation de la consommation d'énergie et des émissions de polluants vers les sols, les eaux et l'air (Foley et al., 2011).

Pour faire face à ces problèmes, les systèmes agricoles doivent évoluer vers plus de durabilité², tout en étant capable de nourrir une population mondiale croissante et en s'adaptant au changement climatique en cours. Le concept d'innovation est au cœur de cette transition nécessaire des systèmes agricoles. En matière d'innovation on distingue souvent l'innovation incrémentielle, ou pas à pas, de l'innovation de rupture ou de novo (Christensen, 1997). L'innovation pas à pas cherche à organiser une transition progressive vers des systèmes innovants, tandis que l'innovation de rupture a pour objectif de concevoir des systèmes de production radicalement différents des systèmes existants, et ouvre ainsi le champ des possibles, en débridant l'inventivité (Meynard, 2012). Ces deux types d'innovation peuvent être complémentaires, la dernière permet d'identifier des solutions innovantes qui représentent des sauts, tandis que la première implique moins de risque et permet à l'agriculteur, souvent accompagné de techniciens ou de ses pairs, de progressivement mettre au point son nouveau système, en découvrant son intérêt et en l'adaptant à sa situation spécifique (Meynard, 2012).

Qu'il s'agisse d'innovation de rupture ou d'innovation pas à pas, la conception de systèmes agricoles nouveaux nécessite d'une part des méthodes et techniques agricoles permettant de concevoir et mettre en œuvre des systèmes innovants et d'autre part des méthodes et outils d'évaluation multicritère permettant d'évaluer les systèmes existants et innovants en quantifiant les conséquences positives ou négatives de l'innovation sur un ensemble de critères (Vereijken, 1997). Dans les années 1990, des méthodes globales, prenant en considération plusieurs critères pour évaluer les systèmes de production agricoles, ont émergé. À partir de cette époque, de nombreuses méthodes d'évaluation dite multicritère ont été développées et utilisées.

Généralement, ces méthodes et outils d'évaluation multicritère de la durabilité construisent ou reposent sur des ensembles d'indicateurs (Ness et al., 2007). Les indicateurs peuvent être appliqués pour évaluer la durabilité de processus de production, d'entreprises, de secteurs industriels/économiques ; et même du développement aux niveaux régional, national, international et mondial (Štreimikien et al., 2009). Dans le domaine agro-alimentaire une multitude d'outils logiciels, basés sur diverses méthodes pour l'évaluation multicritère de la durabilité, ont été déve-

¹ Critère : ce qui sert de base à un jugement.

² Brundtland (1987) a défini la notion de développement durable qui s'appuie sur trois piliers : économique, social et environnemental. Un système durable préserve l'environnement, tout en étant rentable économiquement, et acceptable socialement.

loppés pour différentes échelles d'application (parcelle, entreprise/exploitation, filière, région, pays).

Les concepts de consommation et production durables et d'éco-efficacité³ ont dominé les travaux scientifiques concernant la durabilité au niveau micro (parcelle, ferme, usine). D'autres concepts étendent la recherche et l'évaluation de la durabilité dans le domaine de la collaboration industrielle aux niveaux régionaux, nationaux et internationaux, tels que l'écologie industrielle et l'économie circulaire (Maillefert et Robert, 2014). Certaines méthodes d'évaluation ciblent des aspects spécifiques de la durabilité, généralement ses dimensions environnementales et économiques. Plus récemment, il y a une tendance à l'évaluation de l'ensemble des dimensions de la durabilité, en particulier au niveau des secteurs agricoles et industriels.

Pour l'agriculture, les méthodes d'évaluation multicritère de la durabilité ont pour objectif de couvrir différents aspects du système de production étudié. Par exemple, pour une exploitation agricole on souhaite considérer la quantité de produits vendus, le revenu disponible pour l'agriculteur, la pénibilité du travail, et les impacts de l'exploitation sur son environnement (qualité de l'eau, émissions de gaz à effet de serre, pollution des sols). L'évaluation multicritère permet ainsi la mise en évidence des points forts et faibles des systèmes étudiés, pour les comparer, ou pour proposer des améliorations.

L'évaluation multicritère est une approche globale, qui peut être utilisée à différentes échelles spatiales en fonction des objectifs et du public à qui elle est destinée. Les méthodes d'évaluation multicritère peuvent être utilisées pour l'aide à la conception de systèmes qui n'existent pas encore (*ex-ante*) ou dans une boucle d'amélioration d'un système agricole existant (*ex-post*). Un agriculteur ou un industriel utilisera ces méthodes à une échelle « locale » pour porter une évaluation *ex post* de son activité, identifier ses forces et faiblesses, et proposer des améliorations. Un décideur (collectivité territoriale par exemple) peut utiliser l'évaluation multicritère *ex ante* pour faire de la prospective, comparer les conséquences de plusieurs scénarii afin de prendre une décision (financer l'installation d'un équipement collectif) ou orienter les acteurs du territoire vers des modes de production plus souhaitables. À l'échelle nationale, un exemple d'utilisation de l'évaluation multicritère est l'information du grand public au sujet de l'impact environnemental des produits de consommation, comme cela a été envisagé dans le cadre du Grenelle de l'Environnement.

L'évaluation multicritère est ainsi largement utilisée, dans le monde académique comme dans les secteurs public et privé. Cet article a pour objectif de présenter les concepts, les méthodes et quelques exemples de logiciels utilisés pour l'évaluation multicritère notamment en soutien à l'innovation des systèmes de production agricoles. L'article se focalise principalement sur les méthodes et outils logiciels utilisés en France et d'autres pays francophones.

Concepts essentiels en évaluation multicritère

Selon Zopounidis et Doumpos (2002), l'**évaluation multicritère**⁴ est un outil d'aide à la décision qui permet de classer plusieurs alternatives en ordre de préférence sur la base de plusieurs critères pouvant avoir des unités différentes. Selon Lairez et al. (2015), une évaluation est qualifiée de multicritère lorsqu'elle consiste à réaliser plus qu'une simple description à l'aide de plusieurs critères et donc à proposer une analyse et une interprétation de l'ensemble de ces derniers, ce qui peut impliquer des phases de pondération, de compensation et d'agrégation des différents critères. La deuxième définition a une conception plus large de l'évaluation multicritère que la première, mais les deux convergent sur le fait qu'il faut aller au-delà d'une simple description à l'aide de plusieurs critères pour pouvoir parler d'une évaluation multicritère.

Ainsi une évaluation multicritère comprend deux parties : 1) renseigner plusieurs critères pour les actions ou options alternatives en question, et 2) analyser et interpréter l'ensemble des critères pour identifier la ou les actions ou options qui sont préférables.

Certaines des méthodes utilisées pour les systèmes agricoles décrivent les systèmes étudiés à l'aide de plusieurs critères, dont les valeurs sont livrées à l'utilisateur en sortie de la méthode. C'est ensuite à l'utilisateur de savoir si et comment il veut identifier les actions qui lui paraissent préférables. Si on se réfère aux définitions de Zopounidis et Doumpos (2002) et de Lairez et al. (2015) ces méthodes ne seraient donc pas des méthodes d'évaluation multicritère. Nous proposons l'expression **Évaluation Multicritère Descriptive (EMD)** pour les méthodes de ce type. D'autres méthodes comprennent aussi ou uniquement la deuxième partie, dans laquelle les valeurs des critères sont reprises en entrée et la méthode permet d'interpréter l'ensemble des critères pour faciliter la prise de décision. Pour ces méthodes nous proposons l'expression **Évaluation Multicritère d'Interprétation (EMI)**.

Évaluation Multicritère Descriptive

Les méthodes EMD ont pour objectif de générer un ensemble d'indicateurs qui permet de calculer les valeurs des critères qui caractérisent les systèmes étudiés. Un **indicateur** fournit une information « alternative » pour décrire une situation quand il n'est pas possible, pour des raisons techniques ou financières, de l'évaluer directement (Mitchell et al., 1995). Par exemple, le taux de croissance du produit intérieur brut est souvent utilisé comme indicateur de la « santé économique » d'un pays. Un autre exemple est la tension artérielle comme un des indicateurs de la santé d'une personne. L'interprétation d'un indicateur est facilitée par l'établissement de **valeurs de référence**, définissant le niveau souhaitable de l'indicateur. Ainsi la tension artérielle à ne pas dépasser est un exemple de valeur de référence. Les valeurs de référence ne sont pas toujours disponibles, entre autres parce que les données ou l'expertise permettant d'établir leur valeurs manquent (Acosta-Alba et van der Werf, 2011).

³ L'efficacité avec laquelle les ressources écologiques sont utilisées pour répondre aux besoins de l'être humain.

⁴ En français, les expressions « évaluation multicritère » et « analyse multicritère » sont souvent utilisées comme synonymes. Dans la littérature scientifique, l'expression en anglais « multicriteria analysis » est utilisée le plus souvent. Dans cet article, nous utilisons l'expression « évaluation multicritère ».

Les méthodes EMD permettent d'étudier un ou plusieurs système(s) de production selon plusieurs objectifs (Tableau 1), ce qui permet à l'utilisateur de la méthode d'avoir une vision globale ou sur plusieurs angles des performances du système étudié. Dans une démarche de modification ou d'amélioration d'un système sur un ou plusieurs critères, la mise en œuvre *ex ante* d'une méthode multicritère permet d'examiner les conséquences de ces changements sur un plus grand nombre de critères. En effet, une modification du système qui vise à améliorer un critère A, risque de modifier également les critères B et C. Dans le domaine de l'évaluation environnementale les méthodes multicritères permettent donc d'identifier les « transferts de pollution » éventuels, lorsque la réduction visée d'un impact est accompagnée de l'augmentation d'un ou plusieurs autres impacts, et de mettre en évidence des effets d'antagonisme ou de synergie possibles entre critères (Auberger et al., 2013).

Les méthodes EMD des systèmes de production agricoles reposent sur une démarche composée de sept étapes exposées au tableau 1 :

- 1) Définition des dimensions de la durabilité étudiées,
- 2) Identification de critères pour chaque dimension,
- 3) Définition d'indicateurs renseignant ces critères,
- 4) Définition du système étudié (limites, fonctions),
- 5) Définition des algorithmes de calcul des indicateurs,
- 6) Description technique du système,

7) Calcul des valeurs des indicateurs.

Les indicateurs d'impact environnemental basés sur les moyens sont relativement faciles à mettre en œuvre, puisqu'il suffit de connaître les pratiques de l'agriculteur. Leur défaut est que l'impact environnemental d'une pratique dépend en grande partie d'autres facteurs tels que le type de sol, les autres pratiques et le rendement de la culture. Ils estiment donc de manière imprécise les conséquences réelles de la pratique sur l'environnement. Les indicateurs d'impact environnemental basés sur les effets sont plus lourds à calculer, parce qu'ils mettent en œuvre des modèles de simulation (analytiques ou dynamiques) plus ou moins complexes, pour estimer les conséquences de la pratique sur l'environnement. De ce fait les indicateurs d'effets nécessitent des informations non seulement sur les pratiques de l'agriculteur, mais également sur des éléments du contexte tels que des caractéristiques du sol et du climat.

L'intérêt des méthodes EMD est leur capacité à refléter une réalité complexe : elles quantifient le fait que, lors d'une comparaison de systèmes, il est rare qu'un des systèmes ait les valeurs les plus favorables pour l'ensemble des indicateurs, chaque système ayant ses points forts et faibles. Par conséquent, il est souvent difficile d'identifier le ou les systèmes qui sont préférables. Les méthodes EMI, dont il sera question dans la section suivante, ont été développées afin de faciliter la prise de décision.

N°	Étape	Description	Exemple
1	Définition des dimensions de la durabilité	Certaines méthodes permettent d'étudier seulement des impacts environnementaux, d'autres permettent d'étudier les dimensions sociale et/ou économique, voire la durabilité globale d'un système.	Dimension étudiée : environnement.
2	Identification de critères	On ne peut pas mesurer directement les dimensions de la durabilité, il est nécessaire de définir de grands enjeux, puis de les décliner en un ensemble de critères pour chaque dimension.	Critères possibles : changement climatique, consommation d'énergie, eutrophisation ⁵ , écototoxicité ⁶ .
3	Définition d'indicateurs	Un indicateur est une variable qui fournit des renseignements sur d'autres variables plus difficiles d'accès et qui peut être utilisée comme repère pour prendre une décision. Cette étape peut comprendre la définition de valeurs de référence, qui aident à l'interprétation de la valeur de l'indicateur.	L'impact du système sur le changement climatique peut être quantifié par un indicateur estimant les émissions nettes de gaz à effet de serre (GES) du système.
4	Définition du système étudié	Le système est caractérisé, ses frontières et fonction(s) sont déterminées.	Système : la production de blé, de la production des intrants (engrais, tracteurs) jusqu'à la récolte du blé.
5	Définition des algorithmes de calcul des indicateurs	Cette étape implique le choix d'algorithmes de calcul pour les indicateurs. Ces algorithmes de calcul, ou modèles, sont basés sur les pratiques de l'agriculteur ou bien sur les effets de ces pratiques sur l'environnement.	Exemple de modèle : une équation estimant les pertes de nitrate au champ.
6	Description technique du système d'étude	L'ensemble des interventions sur le système sont renseignées, y compris les quantités d'intrants utilisées, des données d'efficacité techniques (rendement), ou encore les conditions de contexte.	Pour un ha de blé, il faut définir : les quantités de semences, d'engrais, de pesticides utilisées, les dates des interventions, le rendement obtenu.
7	Calcul des indicateurs	Les valeurs des indicateurs sont calculées pour chaque scénario ou système étudié.	Les quantités de CO ₂ et autres GES émises sont calculées.

Tableau 1. Descriptions et exemples des étapes d'une évaluation multicritère descriptive d'un système de production agricole (adapté de Acosta-Alba et van der Werf (2011) et Auberger et al., (2013))

Table 1. Descriptions and examples of the steps of a descriptive multi-criteria analysis of an agricultural production system (adapted from Acosta-Alba and van der Werf (2011) and Auberger et al. (2013))

⁵ Apport en excès de substances nutritives (nitrates et phosphates) dans un écosystème naturel.

⁶ La toxicité d'une substance pour le milieu vivant

Évaluation Multicritère d'Interprétation

Les méthodes EMI permettent de décider sur la base de plusieurs critères. Ces méthodes prennent en compte des (sous-)ensembles d'indicateurs afin de choisir une « meilleure » alternative parmi plusieurs ou de hiérarchiser des alternatives. Parmi ces méthodes, quelques-unes estiment également les valeurs de l'ensemble des indicateurs, et intègrent les étapes 1 à 7 des méthodes EMD. Certaines de ces méthodes, utilisées par exemple dans les outils MASC (décrit partie suivante) et DEXIPM® (DEXi Pest Management), classent les valeurs des indicateurs dans des catégories qualitatives (par ex. de « mauvais » à « excellent ») et puis agrègent les indicateurs de base dans des « indicateurs agrégés » en donnant un poids à chacun. Ces indicateurs agrégés sont eux-mêmes pondérés et agrégés dans un arbre de décision hiérarchique jusqu'aux trois piliers de la durabilité, pour déboucher sur un seul indicateur de la durabilité globale (Figure 1).

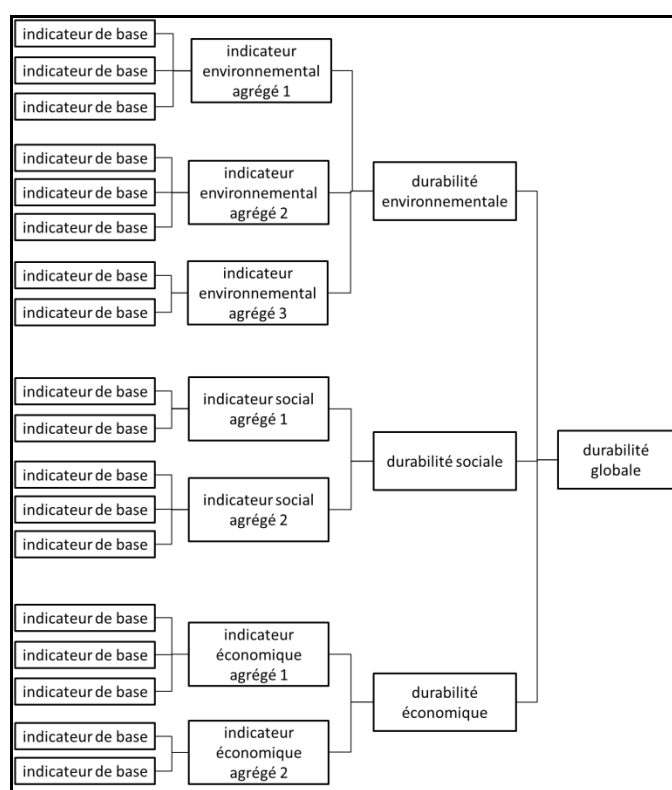


Figure 1. Schéma conceptuel d'une méthode d'évaluation multicritère d'interprétation
Figure 1. Conceptual diagram of an interpretive multi-criteria analysis method

Certains outils suivant ce type de méthode d'agrégation, comme IDEA (décrit partie suivante), ne permettent pas de modifier la liste d'indicateurs de base ou les pondérations, tandis que d'autres, comme MASC, donnent beaucoup de flexibilité à l'utilisateur. Souvent l'utilisateur peut déterminer pour chaque indicateur le nombre de catégories qualitatives à considérer et les valeurs de référence à utiliser pour classer les valeurs quantitatives dans ces catégories. Parfois, ils permettent à l'utilisateur de décider quels indicateurs agréger et comment les pondérer (par ex. pour donner plus d'importance aux impacts environnementaux). Cette flexibilité dans certains outils permet d'adapter les analyses aux caractéristiques des scénarii ou systèmes étudiés, ou aux enjeux du territoire concerné (par exemple donner plus de

poids aux indicateurs en lien avec la qualité de l'eau dans des territoires « Algues vertes »). Certains utilisateurs préfèrent les méthodes EMI aux méthodes EMD pour l'aide à la décision, car les méthodes EMI synthétisent le foisonnement de l'information, et ainsi la rendent plus facilement appréhendable pour la prise de décision (Sadok et al., 2009). Les critiques de la méthode EMI soulignent le fait que les branches de l'arbre hiérarchique les moins détaillées (à savoir avec moins de catégories qualitatives ou d'indicateurs agrégés) ont souvent plus d'influence sur la note finale de la durabilité que les branches plus détaillées (même à pondérations identiques). Si les piliers de la durabilité ne sont pas représentés avec une structure similaire, leur influence relative peut se trouver faussée et l'EMI déséquilibrée. De même, l'utilisation d'un faible nombre de catégories qualitatives (par ex. cinq) dans l'indicateur final, ou dans les indicateurs agrégés en amont, risque de rendre l'analyse peu capable de discriminer des scénarii ou des systèmes différents. De plus, si les données ou l'expertise pour établir des valeurs de référence manquent, la transformation des valeurs quantitatives des indicateurs en catégories qualitatives s'avère souvent difficile.

D'autres méthodes EMI pour l'aide multicritère à la décision relèvent de la « théorie de la décision » et sont encore plus complexes, utilisant par exemple la logique floue (ELECTRE III, VIP Analysis) (Alencar et al., 2010). Néanmoins, cette complexité devient utile pour des problématiques avec de forts enjeux dans les trois piliers de la durabilité et une diversité d'acteurs potentiellement impactée (par ex. la localisation d'une centrale nucléaire), car elle sert à adapter soigneusement la méthode à la problématique et à évaluer plusieurs critères et plusieurs alternatives de façon explicite (DCLC, 2009). Certaines méthodes sont exclusivement basées sur une valeur monétaire des alternatives, tandis que d'autres peuvent prendre en compte des indicateurs biophysiques.

L'utilisation des méthodes EMI et la compréhension de leurs résultats sont limitées par leur complexité. Il est déjà délicat d'estimer des valeurs d'indicateurs pour plusieurs critères par les méthodes EMD, mais il est encore plus délicat d'essayer de les prendre en compte de façon cohérente et équilibrée pour pouvoir les utiliser pour décider.

Enfin il faut souligner que la construction d'une méthode d'évaluation multicritère et notamment le choix des critères et indicateurs, part d'une vision spécifique de ce qu'est la durabilité de la part des concepteurs et des paramétriseurs de la méthode. De ce fait les méthodes EMD et surtout EMI ne donnent pas une vision absolue de la durabilité d'un système, mais un résultat qui dépend des caractéristiques de la méthode et du processus de négociation autour de la paramétrisation de la méthode et des scénarios (van der Werf et al., 2007).

Exemples de méthodes et outils logiciels pour l'évaluation multicritère en agriculture

De nombreuses méthodes et outils logiciels sont utilisés pour l'EMD et l'EMI des systèmes agricoles. Une méthode d'évaluation est un cadre d'analyse reposant sur un ensemble de règles prédéfinies et sur une liste organisée de

critères et d'indicateurs (Lairez et al., 2015). Un outil logiciel est le support pour la mise en œuvre d'une méthode d'évaluation (adapté selon Lairez et al., 2015). Il donne à l'utilisateur des résultats chiffrés à partir de ses données d'entrée, il est plus ou moins transparent sur les algorithmes utilisés et plus ou moins souple et facile d'utilisation. Un outil logiciel dédié facilite la mise en œuvre d'une méthode d'évaluation multicritère. Il faut néanmoins comprendre la méthode suffisamment bien pour pouvoir interpréter les résultats de l'outil et ne pas traiter l'outil comme une « boîte-noire ».

Le site web du RMT ERYTAGE (www.plage-evaluation.fr) est une excellente ressource sur les outils d'évaluation multicritère de la durabilité et notamment des impacts environnementaux des systèmes agricoles. Le Guide *Evaluer la durabilité en agriculture* (Lairez et al., 2015) est une autre bonne source d'information détaillée et récente sur les méthodes d'évaluation multicritère.

Méthodes et outils pour l'évaluation multicritère descriptive

Parmi les nombreuses méthodes et outils permettant de conduire une EMD d'un système agricole nous en avons identifié trois, qui permettent d'illustrer concrètement la grande diversité des approches. Ils se distinguent sur un grand nombre de points, comme le type d'indicateurs utilisés, les sorties des indicateurs, et l'objet et les dimensions de la durabilité évaluées (tableau 2).

Outil	IDEA	INDIGO	EDEN
Approche	Auto-évaluation de la durabilité agro-écologique, socio-territoriale et économique d'une ferme	Évaluation des impacts environnementaux au niveau d'une exploitation et ses parcelles	Analyse du Cycle de Vie pour évaluer les impacts environnementaux des produits d'une ferme ; évaluation de la durabilité économique et sociale de la ferme
Indicateurs	Indicateurs de moyens (36) et indicateurs d'effets (6)	Indicateurs de moyens (3) et indicateurs d'effets (5)	Indicateurs de moyens (4) et indicateurs d'effets (6+8)
Temps de collecte	Une demi-journée	Une journée	Une demi-journée
Sorties indicateurs	Scores	Scores	Valeurs et scores
Objet évalué	Exploitation polyculture élevage	Parcelle/ exploitation en production végétale	Exploitation bovins lait et cultures et ses produits
Dimensions de la durabilité	Environnementale, socio-territoriale, économique	Environnementale	Environnementale, économique, sociale
Exemples d'indicateurs environnementaux	Diversité des cultures, zones de régulation écologiques, fertilisation, pesticides, dépendance énergétique,	Assolement ⁷ , énergie, matière organique, azote, phytosanitaire	Occupation des terres, utilisation d'énergie non-renouvelable, changement climatique, eutrophisation, écotoxicité terrestre

Tableau 2. Caractéristiques des outils IDEA, INDIGO et EDEN pour l'évaluation multicritère descriptive des systèmes agricoles.

Table 2. Characteristics of the IDEA INDIGO and EDEN tools for descriptive multicriteria analysis of agricultural systems.

IDEA

IDEA (Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles ; Tableau 2) propose une méthode globale d'évaluation multicritère de la durabilité des exploitations agricoles par auto-évaluation (Vilain et al., 2008 ; www.idea.chlorofil.fr). La méthode prend en compte une échelle agro-écologique, une

échelle socio-territoriale et une échelle économique pour apprécier, à l'aide d'indicateurs chiffrés, les forces et les faiblesses d'un système de production, et pour identifier des voies d'amélioration vers plus de durabilité. IDEA a été développé pour évaluer les grands types de systèmes agricoles français à l'exception des systèmes agricoles très spécialisés (Zahm, 2013). L'objet évalué par IDEA est l'exploitation de polyculture élevage.

La version 3 d'IDEA permet de calculer 43 indicateurs, dont 19 pour la durabilité agro-écologique, 18 pour la durabilité socio-territoriale et six pour la durabilité économique. Les indicateurs pour l'évaluation de la durabilité agro-écologique et socio-territoriale sont basés sur les pratiques de l'agriculteur, ce sont donc des indicateurs de moyens, qui correspondent à des leviers d'action pour l'agriculteur. Les indicateurs de la durabilité économique reflètent la performance économique, ce sont des indicateurs d'effets. La collecte des données prend une demi-journée, temps relativement faible, car IDEA nécessite des données sur des pratiques et des données économiques facilement disponibles. Les indicateurs sont exprimés sous formes de scores, sur des échelles variables, allant de 0 à 3 jusqu'à 0 à 25. Cette expression sous forme de scores permet de sommer les valeurs des indicateurs afin d'obtenir d'abord une valeur pour chacune des trois dimensions de la durabilité. Ensuite c'est la valeur de la dimension qui a obtenu la somme la plus faible qui constitue la valeur de durabilité globale. Ainsi IDEA permet d'obtenir un score final pour la durabilité, et fonctionne dans ce cas comme une méthode d'EMI.

Des outils sous forme de tableurs Excel ont été développés pour faciliter la mise en œuvre de la méthode IDEA (idea.chlorofil.fr/utilisation/outils-dapplication.html). La collecte des données prend une demi-journée, temps relativement faible, car IDEA nécessite des données sur des pratiques et des données économiques facilement disponibles.

INDIGO

INDIGO (Bockstaller et Girardin, 2006 ; <http://www7.inra.fr/indigo>) est une méthode destinée aux agronomes pour leur permettre d'évaluer les impacts environnementaux de systèmes de culture existants ou en cours de conception, afin d'identifier les systèmes de culture les plus performants, leurs points forts et faibles, ainsi que les pistes d'amélioration. L'objet évalué par INDIGO est la parcelle ou l'ensemble des parcelles d'une exploitation en production végétale. INDIGO a été paramétré pour la France « au nord de la Loire », et permet d'évaluer les grandes cultures, les surfaces en prairies et la vigne (Bockstaller et Rabolin, 2011).

INDIGO permet de calculer huit indicateurs synthétiques : assolement, succession culturale, matière organique, phosphore, azote, phytosanitaire, irrigation, énergie. Les indicateurs assolement, succession culturale et irrigation sont des indicateurs de moyens, les autres sont des indicateurs d'effets. Comme pour IDEA, les indicateurs de moyens d'INDIGO correspondent à des pratiques de l'agriculteur, et donc à ses leviers d'action. Les indicateurs INDIGO sont sensibles à la fois aux pratiques agricoles à l'échelle de la parcelle et aux conditions pédoclimatiques (Bockstaller et Rabolin, 2011).

⁷ Répartition des cultures de l'année entre les parcelles d'une exploitation

Les indicateurs sont exprimés sous forme de scores sur une échelle de performance environnementale entre 0 (impact inacceptable) et 10 (impact faible voire nul) avec une valeur de référence à 7, qui correspond à un minimum acceptable (Bockstaller et Rabolin, 2011).

Un outil logiciel, dédié à la méthode et également baptisé INDIGO, a été développé. Il permet de calculer les indicateurs de la méthode. INDIGO requiert en moyenne une journée pour collecter des données détaillées pour chaque parcelle sur les pratiques de l'agriculteur et les caractéristiques du milieu (type de sol, pente).

EDEN

EDEN (Evaluation de la Durabilité de ExploitationNs) a été conçu comme un outill pour l'évaluation des impacts de fermes produisant du lait et des cultures (Kanyarushoki et al., 2011 ; agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/EDEN), il intègre des indicateurs issus de plusieurs familles de méthodes. Basé sur un tableur Excel, EDEN demande une demi-journée pour la collecte des données et permet de calculer six indicateurs environnementaux, huit indicateurs économiques et quatre indicateurs sociaux. Les indicateurs économiques et sociaux sont inspirés de la méthode IDEA et exprimés sous forme de scores. Les indicateurs environnementaux (eutrophisation, acidification, utilisation d'énergie non renouvelable, changement climatique, toxicité terrestre et occupation des terres agricoles) sont des indicateurs d'effets basés sur l'Analyse du Cycle de Vie (ACV ; Encadré 1), et exprimés sous forme de valeurs.

Analyse du Cycle de Vie (ACV)

L'ACV est une méthode qui produit des indicateurs d'impact environnemental basés sur un inventaire détaillé de toutes les ressources consommées et les émissions associées à un produit sur toute sa durée de vie, de l'extraction des matières premières, en comprenant la phase d'utilisation jusqu'à la mise en déchet ou le recyclage du produit (Jolliet et al., 2010). Les impacts indirects (associés aux intrants utilisés sur la ferme) sont inclus, ce qui le différencie de plusieurs autres cadres/outils.

L'ACV bénéficie de connaissances, de normes et lignes directrices, ainsi que d'une variété de bases de données et d'outils. Parmi ceux-ci, la base de données française AGRIBALYSE® fournit aux chercheurs, producteurs et autres décideurs des données pour l'ACV des principaux produits agricoles français, obtenues selon une méthodologie homogène et partagée entre les acteurs de la filière. D'autres bases de données d'ACV agricoles et alimentaires existent, tels que Agri-footprint® (www.agri-footprint.com), et ecoinvent (ecoinvent.org).

Pour faciliter l'utilisation de l'ACV d'autres outils existent, parmi lesquels ceux de la plateforme MEANS. Cette plateforme INRA est une suite d'outils qui permet notamment aux chercheurs INRA non-experts en ACV d'effectuer des études ACV, en se basant en partie sur la méthodologie AGRIBALYSE®. Cette plateforme permet ainsi via l'outil MEANS-InOut la collecte de données et le calcul de flux d'émissions et de consommation de ressources nécessaires à la réalisation d'une ACV. Ces données sont ensuite agrégées

dans un logiciel ACV tel que SimaPro® pour construire les dits indicateurs (basés sur les effets).

Encadré 1. Analyse du Cycle de Vie et plateforme MEANS
Box 1. Life Cycle Assessment and the MEANS platform

Méthodes et outils pour l'évaluation multicritère d'interprétation

Un bon nombre de méthodes et d'outils d'EMI ont été développés pour l'EMI. Nous en présentons deux ici.

MASC

MASC (Multi-attribute Assessment of the Sustainability of Cropping systems) est une méthode d'EMI destinée aux conseillers agricoles et aux chercheurs (Reau, 2011), visant à évaluer la durabilité des systèmes de culture, au moyen d'une évaluation *ex-ante* (Sadok et al., 2009). MASC est basé sur un système d'aide à la décision et évalue les dimensions économique, sociale et environnementale de la durabilité, à travers 39 critères d'évaluation qualitatifs disposés dans une structure arborescente (Reau, 2011). L'outil logiciel MASC, qui permet de mettre en œuvre la méthode éponyme, est basé sur la technologie DEXi, un outil d'aide à la décision multicritère qui agrège et synthétise des informations qualitatives (Znidarsic et al., 2008). Les pondérations des critères sous-jacentes peuvent être établies dans une approche participative, impliquant les parties prenantes. Les critères qui sont les variables d'entrée de MASC sont basés sur les pratiques de l'agriculteur et des informations sur le climat et le sol. La plupart des critères environnementaux sont basés sur la méthode INDIGO. L'outil informatique CRITER permet de calculer les critères d'entrée de la méthode MASC (Reau, 2011).

ELECTRE

Certaines méthodes d'EMI ont été modifiées et améliorées au cours des années, notamment, la famille de méthodes ELECTRE (« ELimination Et Choix Traduisant la Realité »), qui a ses origines dans les années 1960, et qui a été proposée afin de dépasser les méthodes d'optimisation classiques (Roy, 1996). ELECTRE se focalise sur trois types de problématiques auxquelles un décideur peut être confronté quand il a le choix entre plusieurs options : la sélection, le classement, et le tri. Elle se base sur des notions complexes (par ex., « relations de surclassement », « seuils de veto », « pseudo-critères »), avec l'utilisation ou non de la pondération (Saracoglu, 2015). D'autres méthodes agrègent les évaluations individuelles de décideurs pour en faire une évaluation globale du groupe de décideurs (par ex., ELECTRE GD, GDSS PROMETHEE). Ces méthodes d'EMI semblent moins utilisées en agriculture que les méthodes du type MASC, mais des cas d'étude existent. Par exemple, Arondel et Girardin (2000) ont utilisé ELECTRE TRI pour trier les systèmes de culture en fonction de leur impact sur l'eau. Ducau et Leibreich (2001) ont utilisé ELECTRE III pour évaluer le risque de pollution par les nitrates et la contamination des fourrages en Dordogne.

Des outils informatiques fonctionnant sous windows ont été développés pour la mise en œuvre des méthodes ELECTRE par le Laboratoire d'Analyse et de Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision (LAMSAD ; www.lamsad.dauphine.fr).

Discussion

Une méthode qui se limite à une simple description d'un système à l'aide de plusieurs critères n'est généralement pas considérée comme une évaluation multicritère, puisqu'il manque une phase d'analyse et d'interprétation (Lairez et al., 2015). Il existe cependant des méthodes et des outils logiciels qui se limitent à ce qu'on pourrait appeler une description multicritère. Nous proposons l'expression *Evaluation Multicritère Descriptive* pour ce type de démarche, et nous avançons l'expression *Evaluation Multicritère d'Interprétation* pour les méthodes qui incluent, voire se focalisent sur l'analyse et l'interprétation multicritère. Nous pensons que les deux types de démarche ont leur raison d'être, notamment pour soutenir l'innovation des systèmes de production agricoles.

Les innovations à l'échelle d'un système de production impliquent des changements complexes au sein de ce système, que les méthodes d'évaluation multicritère permettent d'appréhender. Quand on pratique l'innovation pas à pas, on étudie souvent un seul système, afin de l'améliorer. L'évaluation multicritère sert dans ce cas à identifier les critères pour lesquels la performance du système n'est pas satisfaisante. Cette évaluation alimente ensuite une boucle d'apprentissage, c'est-à-dire un cycle itératif, où des phases de modification, test en conditions réelles ou virtuelles et évaluation multicritère se succèdent. L'évaluation permet de voir, d'une part, si les modifications apportées ont permis d'améliorer la performance du système pour les critères visés, et d'autre part si les performances du système sont toujours satisfaisantes pour les autres critères. Pour une telle finalité, les méthodes EMD donnent le niveau d'information souhaité, puisqu'il n'y a pas besoin d'intégrer l'information fournie par l'ensemble des critères. Les outils IDEA, INDIGO et EDEN sont souvent utilisés dans une démarche d'amélioration de systèmes existants, voire de conception de systèmes innovants.

Quand on pratique l'innovation de rupture, on étudie généralement plusieurs systèmes, dont certains sont des systèmes innovants et d'autres des systèmes de référence. Dans ce cas on a pour objectif de comparer les systèmes, soit simplement pour connaître et/ou communiquer, ou bien en outil d'aide à la décision, pour choisir le ou les systèmes qui sont préférables. Dans cette situation les méthodes EMI sont souvent préférées par les utilisateurs, parce que ces méthodes facilitent le travail des décideurs puisqu'elles permettent de choisir le système le plus approprié, voire de classer ou trier les systèmes. Ainsi les outils MASC et Electre sont souvent utilisés pour comparer plusieurs systèmes ; ils facilitent la prise de décision par la synthèse des informations, notamment quand le nombre de critères considérés est important.

Conclusion

Les systèmes agricoles actuels ne répondent que partiellement aux enjeux du développement durable. De ce fait, les concepts et outils de l'évaluation multicritère sont de plus en plus utilisés pour guider l'innovation et accompagner la

transition vers des systèmes agricoles durables. L'évaluation multicritère descriptive permet notamment d'appréhender l'innovation pas à pas d'un seul système de production, tandis que l'évaluation multicritère d'interprétation vient plutôt en soutien à l'innovation de rupture en comparant un grand nombre de systèmes. Il existe de nombreux outils logiciels pour conduire ces deux types d'évaluation multicritère.

Bibliographie

Acosta-Alba, I., van der Werf, H.M.G., 2011. The use of reference values in indicator-based methods for the environmental assessment of agricultural systems. *Sustainability* 3 : 424-442.

Arondel, C., Girardin, P., 2000. Sorting cropping systems on the basis of their impact on groundwater quality. *European Journal of Operational Research* 127: 467-482

Auberger, J., Gésan-Guizieu, G., Haese, C., Aubin, J., van der Werf, H., 2013. MEANS : une plateforme informatique INRA pour l'analyse multicritère de la durabilité des systèmes agricoles et agro-alimentaires. *Innovations Agronomiques* 31 : 169-181.

Alencar, L.H., de Almeida, A.T., Morais, D.C., 2010. A multicriteria group decision model aggregating the preferences of decision-makers based on ELECTRE methods. *Pesquisa Operacional* 30 : 687-702.

Bockstaller, C., Girardin, P., 2006. Evaluation agri-environnementale des systèmes de culture : la méthode INDIGO. *Oléoscope* 85 : 4-6.

Bockstaller, C., Rabolin, C., 2011. Fiche outils INDOGO version 2. PLAGE, Plateforme d'évaluation Agri-Environnementale. Téléchargé le 6 août 2015 de : <http://www.plage-evaluation.fr/webplage/images/stories/pdf/ficheindigo.pdf>.

Brundtland, G.H., 1987. *Notre avenir à tous*. Oxford : Oxford University Press - United Nation World Commission on Environment and Development, 400 p.

Castellini, C., Berri, C., Le Bihan-Duval, E. and Martino G., 2008. Qualitative attributes and consumer perception of organic and free-range poultry meat, *World's Poult. Sci. J.* 64: 500-512.

DCLC (Department for Communities and Local Government), 2009. *Multi-criteria analysis: a manual*. London, UK, 165 p. Téléchargé le 24 juillet 2015 de : http://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria_Analysis.pdf

Ducau, M., Leibreich, J., 2001. Mise en œuvre du CTE dans le département de la Dordogne. Diagnostic territoriale sur le thème de l'eau, in *Premiers regards sur la multifonctionnalité de l'agriculture au travers de la mise en place des Contrats Territoriaux d'Exploitations*. Actes du séminaire Cemagref - INRA 12-13 décembre 2000 à l'ENITA de Clermont-Ferrand Marmilhat-Lempdes, p. 107-116.

Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. R., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockstrom, J., Sheehan, J.,

- Siebert, S., Tilman, D., Zaks, D. P. M., 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478: 337-342.
- Joliet, O., Saadé, M., Crettaz, P., Shaked, S., 2010. *Analyse du cycle de vie. Comprendre et réaliser un écobilan*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, Suisse.
- Kanyarushoki, C., van der Werf, H.M.G., Corson, M.S., Roger F., 2011. Evaluation environnementale de systèmes de production laitiers : comparaison de systèmes conventionnels et biologiques avec l'outil EDEN. *Sciences Eaux & Territoires* 4 : 32-37.
- Lairez, J., Feschet, P., Aubin, J., Bockstaller, C., Bouvarel, I., 2015. Evaluer la durabilité en agriculture. *Agriculture et développement durable. Guide pour l'évaluation multicritère*. Quae/Educagri, Versailles, 232 p.
- Maillefert, M., Robert, I., 2014. Écologie industrielle, économie de la fonctionnalité, entreprises et territoires : vers de nouveaux modèles productifs et organisationnels ? *Développement durable et territoires* 5 (1).
Téléchargé le 9 septembre 2015 de : <http://developpementdurable.revues.org/10177> ; DOI : 10.4000/developpementdurable.10177
- Meynard, J.M., 2012. La reconception est en marche ! Conclusion.... *Innovations Agronomiques* 20: 143-153.
- Mitchell, G., May, A., McDonald, A., 1995. PICABEU: a methodological framework for the development of indicators of sustainable development. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* 2: 104-123.
- Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S., Olsson, L., 2007. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological Economics* 60: 498-508.
- Reau, R., 2011. Fiche outils CRITER et MASC version 2. Caractérisation et évaluation multicritère des performances des systèmes de culture.
Téléchargé le 8 septembre 2015 de : http://www.plage-evaluation.fr/webplage/images/stories/pdf/fichecriter_masc.pdf.
- Roy, B., 1996. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Pays-Bas.
- Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J.E., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., Reau, R., Messean, A., Doré, T., 2009. MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 447-461.
- Saracoglu, B. O., 2015. An experimental research study on the solution of a private small hydropower plant investments selection problem by ELECTRE III/IV, Shannon's Entropy, and Saaty's Subjective Criteria Weighting. *Advances in Decision Sciences*.
Téléchargé le 23 juillet 2015 de <http://dx.doi.org/10.1155/2015/548460>.
- Swanson, J. C., 1995. Farm animal well-being and intensive production systems. *J Animal Science* 73: 2744-2751.
- Štreimikien, D., Girdzijauskas, S., Stoškus, L., 2009. Sustainability Assessment Methods and Their Application to Harmonization of Policies and Sustainability Monitoring. *Environmental Research, Engineering and Management* 2: 51-62.
- Van der Werf, H M G, Petit, J., 2002. Evaluation de l'impact environnemental de l'agriculture au niveau de la ferme, comparaison et analyse de 12 méthodes basées sur des indicateurs. *Courrier de l'Environnement de l'INRA* 46 : 121-133.
- Van der Werf, H.M.G., Tzilivakis, J., Lewis, K., Basset-Mens, C., 2007. Environmental impacts of farm scenarios according to five assessment methods. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118: 327-338.
- Vereijken, P., 1997. A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. *European Journal of Agronomy* 7 : 235-250.
- Vilain, L., Boisset, K., Girardin, P., Guillaumin, A., Mouchet, C., Viaux, P., Zahm, F., 2008. *La méthode IDEA - Indicateurs de durabilité des exploitations agricoles - Guide d'utilisation*, 3^{ème} édition, Ed. Educagri, Dijon, 184 p.
- Zahm, F., 2013. Fiche outils IDEA version 3. PLAGE, Plateforme d'évaluation Agri-Environnementale.
Téléchargé le 6 août 2015 de : <http://www.plage-evaluation.fr/webplage/images/stories/pdf/ficheidea.pdf>.
- Znidarsic, M., Bohanec, M., Zupan, B., 2008. Modelling impacts of cropping systems: demands and solutions for DEX methodology. *European Journal of Operational Research* 189: 594-608.
- Zopounidis, C., Doumpos, M., 2002. Multicriteria classification and sorting methods: a literature review. *European Journal of Operational Research* 138: 229-246.